Chimie et agriculture

L'exemple du vignoble français

Jean Grelon

De tout temps les agriculteurs se sont efforcés d'imaginer des systèmes de production adaptés aux contraintes du milieu et aux possibilités des hommes, et les techniques, d'abord empiriques, ont été progressivement perfectionnées. A l'avènement de l'ère industrielle, la chimie a fait une entrée en force dans le monde agricole, d'abord dans le domaine des engrais puis dans celui des produits phytosanitaires (voir tableau I). La période euphorique des débuts s'est bientôt effacée devant les coûts de plus en plus élevés de la production agricole au moment où la saturation des marchés tirait les prix à la baisse. Par nécessité, les exploitants ont dû réapprendre à gérer de façon économe les facteurs de production, en constatant que les résultats obtenus sur le plan financier n'étaient pas à la hauteur des dépenses engagées. La modification du comportement des exploitants, qui s'est traduite par une réduction des achats d'engrais et de produits phytosanitaires, a eu une incidence sur l'industrie chimique en freinant partiellement l'innovation. Actuellement, en ce qui concerne les engrais, la consommation européenne, qui est une des premières du monde, (18,6 millions de tonnes sur les 132 consommés dans le monde en 1986-1987) est en train de plafonner (tableaux II, III et IV) ; il en est de même pour celle des produits

phytosanitaires chez les principaux pays concernés. Elle serait même en régression aux États-Unis et au Japon. Enfin, il faut tenir compte des graves problèmes d'environnement liés à la pollution par les nitrates et, dans une moindre mesure, par les phosphates.

Pour faire face à cette situation et à la mise en place du marché unique de 1993, l'industrie chimique réorganise ses outils de production, concentre ses entreprises, implante des nouvelles unités au cœur même du marché européen et surtout développe une recherche scientifique performante tant dans le domaine des nouvelles molécules que dans celui des biotechnologies, des semences ou de l'agro-alimentaire.

Le secteur particulier de la viticulture n'échappe pas aux problèmes généraux du monde agricole, car une vive situation de concurrence s'est développée, aussi bien sur le marché intérieur que sur les marchés d'exportation, si bien qu'un contrôle sévère des coûts de production s'impose désormais à tous les viticulteurs.

Il faut pour cela agir sur les postes coûteux, parmi lesquels celui de la protection des cultures occupe une large place. A côté des traitements contre les ravageurs, la lutte contre les mauvaises herbes par l'application de produits mis au point par l'industrie chimique mondiale a été un apport considérable en viticulture au cours des dix dernières années.

Par rapport à la culture traditionnelle, le désherbage chimique a influé sur le bilan de l'exploitation, en agissant non seulement sur le prix de revient mais encore sur la disponibilité de la main d'œuvre et la consommation d'énergie. Du côté du produit récolté, il a permis de meilleurs rendements ainsi qu'une amélioration de la qualité du vin, le vigneron ayant désormais davantage de temps pour traiter sa récolte. Ajoutons enfin que l'aspect esthétique d'une vigne propre est pour le producteur comme pour le visiteur-consommateur un argument en faveur du récoltant.

Si, pendant plusieurs années, le désherbage chimique a paru une solution facile, on s'est vite aperçu que son utilisation non raisonnée faisait apparaître un certain nombre de difficultés. Outre le problème général de la pollution des sols, on constate une évolution de la flore avec l'extension des plantes vivaces et ligneuses et le développement de phénomènes de résistance à certaines familles chimiques, en particulier les triazines. C'est pourquoi, sans remettre en question la liaison chimie-viticulture, de nouvelles techniques de lutte contre les mauvaises herbes sont apparues, mettant en œuvre un nouveau mode d'utilisation des herbicides ou encore une nouvelle façon culturale. Il appartient désormais au viticulteur de raisonner son désherbage en choisissant la technique la mieux adaptée à la situation de son exploitation, et de la mettre en pratique dans les meilleures conditions.

LES MAUVAISES HERBES OU ADVENTICES

Selon la définition de l'Afnor (Association française de normalisation), une mauvaise herbe est « *une plante herbacée ou, par extension, une plante ligneuse qui, à l'endroit où elle se trouve, est indésirable* ». Ainsi, une plante usuelle quelle qu'elle soit peut devenir « mauvaise » si, tout simplement, on ne veut pas d'elle dans une culture.

Pourquoi sont-elles là ? D'abord parce qu'elles se trouvent dans les sols. On estime en effet que les terres cultivées en contiennent des millions à l'hectare. Il y a donc là une réserve considérable, et cela d'autant plus que la longévité de certaines d'entre elles peut atteindre plusieurs dizaines d'années. De plus, ces plantes sauvages ont la plupart du temps un pouvoir de fructification et de dissémination intense. Pensons par exemple aux semences de pissenlit transportées par le vent ou aux graines de saule et de peuplier qui envahissent les routes au printemps. Enfin, leur qualité de plantes sauvages leur confère une réelle agressivité vis-à-vis des plantes cultivées, agressivité qui se traduit par la concurrence pour la nourriture et par la possibilité de résistance aux traitements. C'est donc une lutte incessante entre le cultivateur et la nature.

Les mauvaises herbes appartiennent à de nombreuses familles botaniques. Leur distinction en plusieurs groupes est basée sur leurs caractères biologiques.

Les annuelles

Elles bouclent leur cycle en une année. Certaines germent en automne, passent l'hiver à l'état de rosette, fleurissent au printemps et disparaissent avant l'été. D'autres ne germent au printemps qu'après avoir subi le froid de l'hiver ; elles fleurissent en été pour mourir au début de l'automne. En revanche, certaines espèces plus méridionales ont besoin de chaleur ; elles germent en été avant de disparaître, elles aussi, au début de l'automne. Enfin, il y a le groupe des indifférentes, aux exigences très souples, qui peuvent germer tout au long de l'année et même présenter plusieurs cycles de génération par an. Telles sont le pâturin annuel, la capselle bourse-à-pasteur, le séneçon, le mouron blanc.

Les bisannuelles et pluriannuelles

Certaines espèces, après avoir germé, construisent une rosette, entrent en repos, puis fleurissent et fructifient la seconde année. Ce sont les bisannuelles, comme la carotte. D'autres fleurissent et persistent d'une année sur l'autre, développant ainsi plusieurs cycles successifs : pissenlit, mauve des forêts.

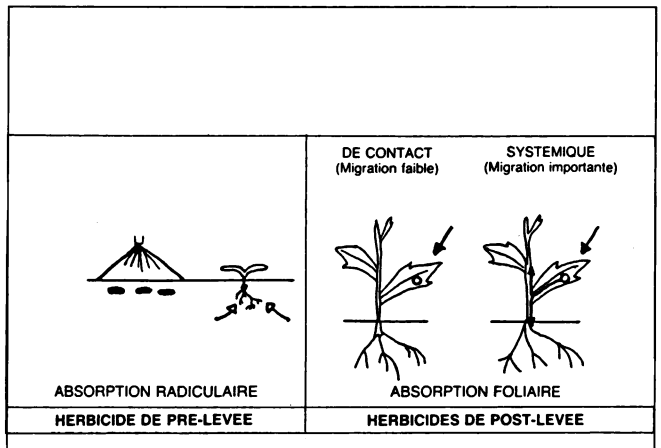
Les vivaces

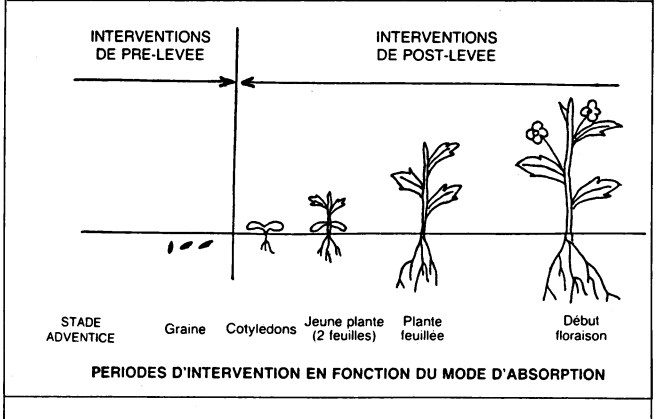
Alors que la reproduction des annuelles, bisannuelles et pluriannuelles est toujours forte, celle des vivaces est presque négligeable. C'est l'appareil végétatif qui, sous diverses formes (bulbe, rhizome, stolon, etc.), assure la multiplication et la pérennité de l'espèce. Le liseron, bien connu, est une espèce à rhizome particulièrement envahissante.

Les semi-ligneuses et ligneuses

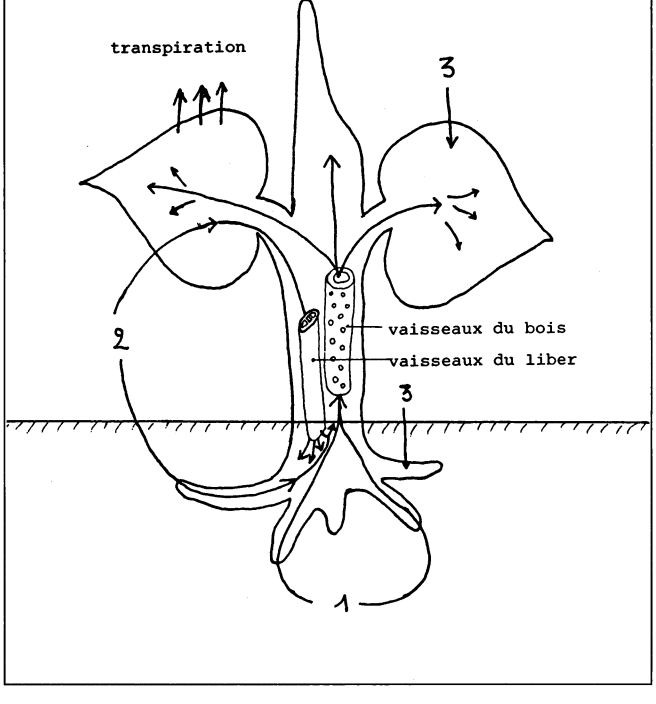
La disparition du désherbage mécanique a fait que les ronces, les lianes du genre clématite ou garance ont envahi les vignes. Il n'est pas rare de voir dans certains vignobles de jeunes arbres : chênes, ailanthes, etc.

Ainsi se succèdent dans l'année des espèces de différents groupes qui vont donner au vignoble une physionomie saisonnière. En général, au printemps dominent les annuelles, puis celles-ci disparaissent devant les





PERIODES D'INTERVENTION EN FONCTION DU MODE D'ABSORPTION



vivaces qui en été occupent le sol ; enfin, au début de l'automne apparaissent les annuelles d'hiver tandis que, çà et là, tout particulièrement autour des pieds de vigne, les lianes et semi-ligneuses prennent, si l'on n'y prend pas garde, de plus en plus d'extension.

LA LUTTE CHIMIQUE (fig. 1,2,3)

Face à cette situation, le vigneron qui désire utiliser la lutte chimique n'a que l'embarras du choix, car les spécialités commerciales proposées par les différentes firmes de produits phytosanitaires sont nombreuses. La classification des matières actives est basée sur leur mode d'absorption par les plantes et leur utilisation par les agriculteurs.

Les herbicides de pré-levée

Il s'agit de produits à action préventive. Déposés sur un sol nu, ils agissent sur les levées de graines en pénétrant au niveau des racines. Pour que leur action soit efficace, il est nécessaire que leur application soit suivie d'une pluie (en général 30 à 50 mm) ; ils migrent alors dans les couches superficielles du sol et sont absorbés par les racines des jeunes plantes au fur et à mesure de leur germination.

La solubilité de l'herbicide, et donc sa persistance ou rémanence, sa plus ou moins grande vitesse de migration en fonction de la nature du sol (argileux ou sableux), la teneur de celui-ci en matière organique sont autant de facteurs qui interviennent sur l'efficacité du produit.

En général, les herbicides de pré-levée ont peu d'action sur les herbes en place, en particulier les vivaces. En revanche, dans des sols filtrants ils peuvent provoquer sur la vigne des symptômes de toxicité. Leur emploi doit donc être raisonné et tenir compte de la nature du sol et des conditions climatiques.

Les herbicides de post-levée

Ils sont absorbés par les feuilles. En raison de ce mode d'absorption, ils doivent être appliqués directement sur des adventices déjà développées. Leur gros inconvénient est que la plupart d'entre eux ne sont pas sélectifs de la vigne. Il est donc nécessaire de prendre des précautions pour éviter les projections du produit, soit directement sur le feuillage, soit indirectement par les embruns.

On en distingue deux catégories, ceux qui ont une action uniquement de contact, et qu'on appelle encore défanants, et ceux qui ont en plus une action systémique. Les premiers détruisent de façon rapide tout ce qui est herbacé, mais leur action est temporaire, et les réserves de

---

Fig. 1 : Types d'herbicides.
Fig. 2 : Périodes d'intervention, (d'après Agulhon et coll.).
Fig. 3 : Voies de pénétration et de transport des herbicides chez les plantes supérieures (d'après Tissut et Severin, 1984).
1 - Pénétration par les racines et transport par les vaisseaux du bois.
2 - Pénétration par les feuilles (contact) et transport par les vaisseaux du liber.
3 - Action de contact uniquement.

la plante permettent souvent une reprise de la végétation. C'est pourquoi leur meilleure utilisation est en début d'apparition des mauvaises herbes. La seconde catégorie concerne des herbicides qui, après avoir pénétré dans la plante au niveau des feuilles, sont véhiculés dans la racine et dans la tige au moyen du système vasculaire. Tous les organes sont donc susceptibles d'être atteints. Les herbicides dits systémiques ont donc une action plus complète ; en particulier, ils sont efficaces sur les plantes vivaces.

Les associations d'herbicides

Quel que soit le type d'herbicide employé, il est rare que la destruction des mauvaises herbes soit complète. Ceci est dû soit au mode d'action de l'herbicide non adapté aux adventices en place, soit au spectre d'efficacité du produit qui ne couvre pas la totalité des espèces présentes. Pour résoudre cette difficulté, les firmes phytosanitaires proposent des spécialités où sont associés des produits de modes d'action différents, par exemple un herbicide de pré-levée et un herbicide de contact, un herbicide antigraminées et un herbicide antidicotylédones. Dans tous les cas il sera nécessaire de tenir compte des remarques ci-dessus concernant la présence plus ou moins abondante des mauvaises herbes, la nature du sol et les conditions climatiques. Les mélanges peuvent être faits par le vigneron, mais il faut en ce cas faire attention à l'incompatibilité de certaines formulations, à la possible baisse d'efficacité du mélange réalisé en raison d'une réaction chimique, ou encore aux erreurs de dosage.

LA CONDUITE DU DÉSHERBAGE

En pratique, devant une vigne à désherber le vigneron a plusieurs choix possibles :

Faire un désherbage temporaire

Le vignoble est traité selon les techniques habituelles de labour et de sarclage, mais une flore de mauvaises herbes peut s'installer localement et abondamment. Un passage supplémentaire de labour serait onéreux en temps. On peut préférer un désherbage chimique sur les taches au moyen d'un herbicide de contact ou d'un herbicide systémique. L'efficacité n'en reste pas moins aléatoire, et le coût en sera élevé.

Faire un désherbage localisé à une bande de terrain située de part et d'autre de la ligne de ceps

Le milieu de l'inter-rang continue à recevoir les façons culturales habituelles. La conduite de ce mode de désherbage n'est pas facile à contrôler, car les mauvaises herbes encore présentes sur l'inter-ligne sont autant d'éléments défavorables à la propreté du rang, soit en raison de la possible dissémination des graines et des fruits des annuelles, soit en raison de la croissance des rhizomes et stolons des vivaces.

Faire une non-culture totale

Cela consiste à appliquer des produits herbicides sur toute la surface du sol et à supprimer les façons culturales. Cette technique nécessite au départ une opération assurant la mise à plat du sol suivie de l'épandage d'un herbicide persistant à action racinaire, dont la dose par hectare tient compte de la nature du sol. On recommence les années suivantes en fonction du régime des pluies, et on intervient au cours de la saison avec des produits de post-levée si c'est nécessaire.

LES LIMITES DU DÉSHERBAGE

L'usage mal raisonné des produits phytosanitaires engendre plusieurs difficultés, en particulier celle de prévoir la phytotoxicité des matières actives sur la vigne. En effet, en raison de leur diversité, les espèces à combattre présentent des réactions différentes selon leur sensibilité au produit. De plus, on sait que la répétition de l'emploi de produits contre les maladies des plantes et les ravageurs provoque des déséquilibres écologiques qui se traduisent par la pullulation de certaines espèces ou l'apparition de races résistantes. Il en est de même pour les adventices.

En effet, sur un sol où la concurrence entre espèces n'existe plus, les mauvaises herbes trouvent des conditions nouvelles de développement ; certaines, limitées antérieurement à des milieux particuliers, se multiplient considérablement. On constate alors que les espèces annuelles, qui constituaient le fonds commun des adventices des cultures sarclées, disparaissent et sont remplacées par des espèces bisannuelles puis vivaces ou même parfois ligneuses. Il se produit ainsi une évolution de flore un peu comparable à celle que l'on constate lors du passage de la pelouse à la forêt lorsque l'homme n'intervient pas.

Certaines espèces échappent aussi à l'action d'un herbicide parce que, la plupart du temps, le spectre d'action du produit n'est pas assez étendu. On constate par exemple que les urées substituées favorisent le gaillet, que les phytohormones de synthèse en font de même pour le vulpin. Quelquefois, c'est une erreur de manipulation qui a entraîné un mauvais positionnement de l'herbicide par rapport à l'adventice que l'on veut éliminer. On la retrouve intacte après le passage. Une pluie trop faible ou un soleil trop ardent peuvent rendre certains produits inefficaces.

Enfin, depuis plusieurs années sont apparus des phénomènes de résistance aux herbicides. Ils ont pour cause les caractères génétiques des espèces. Il peut s'agir soit d'une sélection naturelle au sein d'une population soit d'une mutation qui rend la plante insensible au traitement. Le premier cas connu de résistance a été signalé aux États-Unis en 1970 : il s'agissait d'une population de séneçon. Depuis, ce nombre n'a fait qu'augmenter, si bien qu'actuellement on connaît une cinquantaine d'espèces résistantes dans le monde, dont une vingtaine en France.

Un vignoble envahi par les adventices. Cl. J. Grelon (ci-contre).

UNE SOLUTION : LE PROGRAMME DE DÉSHERBAGE

Face à cette stratégie adaptative des plantes, le vigneron doit raisonner son désherbage, c'est-à-dire étudier un programme d'action qui tiendra compte de la nature du sol, du climat de la région, de l'âge du vignoble (les jeunes plants sont plus sensibles aux produits) ainsi que des adventices présentes, ce qui suppose de sa part une bonne connaissance de la flore locale et des produits employés, surtout lorsque ceux-ci sont des mélanges d'herbicides de pré et de post-levée. Il lui est recommandé également de faire une rotation de produits.

Dans les régions où la non-culture est pratiquée, la tendance actuelle est au fractionnement des doses avec deux ou trois applications (généralement en février puis en mai-juin). On surveille alors l'apparition des dicotylédones résistantes, et, pour certaines espèces, telles le liseron, on ne traitera qu'après leur complet développement.

Le programme, quel qu'il soit, doit être adapté chaque année et tenir compte de la situation particulière des régions.

Ainsi, en Champagne, le désherbage par la non-culture est pratiqué à peu près partout ; de même en Anjou et en Touraine, où 90 % des vignes reçoivent des herbicides. En général, cette application se fait du printemps à l'automne. Les autres vignerons utilisent encore les techniques traditionnelles, mais certains (2 %) tentent une nouvelle méthode, celle de l'enherbement permanent. Dans ce procédé, seul le rang est désherbé, le reste du vignoble est ensemencé en graminées (fétuque ou ray-grass) ou en légumineuses (trèfle) ce qui permet de lutter contre l'érosion et la dégradation des sols par le passage des engins. Le vignoble d'Alsace utilise un peu toutes ces méthodes ; de même celui de Bourgogne. Les vignerons bordelais du Médoc et des Graves emploient uniquement les techniques d'autrefois ; ceux de l'Entre-deux-mers désherbent le rang, laissant la végétation naturelle spontanée s'installer dans l'entre-rang où elle est fauchée régulièrement. Enfin, les sols des vignes du midi sont griffés superficiellement ; la non-culture intégrale ne pouvant être pratiquée en raison de la sécheresse.

On constate donc une grande variété de situations et de réponses aux problèmes posés. Le désherbage chimique du vignoble français reste finalement une opération très complexe et, aujourd'hui encore, assez mal maîtrisée.

L'APPLICATION DES HERBICIDES

Traiter une vigne contre les mauvaises herbes est une opération toute différente de celle qui consiste à la protéger contre les maladies ou les insectes. En effet, il s'agit ici de recouvrir le sol d'un produit toxique contre certaines plantes tout en protégeant la végétation en place ; il faut donc éviter les pulvérisations génératrices d'embruns. Pour cela, le matériel devra à la fois couvrir la totalité de la surface à désherber, produire des gouttes suffisamment grosses et les projeter sur le sol à une faible pression.

En dehors des spécialités qui se présentent sous la forme de granulés, ce qui est généralement le cas pour les produits de pré-levée qui sont ainsi directement répandus sur le sol, les herbicides sont proposés sous forme de poudre ou de bouillie qu'il faut diluer au moment de l'emploi. Les différents modèles de pulvérisateurs comportent toujours :

- une cuve d'assez grandes dimensions permettant de ne faire qu'un seul passage par hectare (environ 300 à 500 litres) ;
- un ensemble régulateur et contrôleur avec amortisseur de pression et manomètre ;
- un distributeur de produit associé à une ou deux rampes munies de buses à fente ou à miroir. Les premières projettent directement le produit sur le sol, les secondes le font après avoir projeté d'abord le produit sur une surface polie.

ACTION HERBICIDE ET RÉACTION DES PLANTES (fig. 4, 5, 6, 7)

L'application des produits phytosanitaires ne donne pas toujours les résultats escomptés, soit parce que les plantes que l'on désire détruire demeurent en partie en place après le traitement, soit parce que la culture est elle-même atteinte de phytotoxicité en raison du manque de sélectivité du produit. Il faut en effet se rappeler que la plupart des herbicides sont toxiques pour toutes les plantes, et que seuls le mode d'emploi et les doses d'application permettent à la fois la destruction des mauvaises herbes et la protection de la culture. C'est donc tout le problème de la sélectivité des produits qui se trouve ainsi posé, l'idéal à atteindre étant que toutes les plantes indésirables soient détruites, mais surtout pas celles que l'on veut protéger.

La sélectivité d'un herbicide par rapport à une plante peut s'exercer d'abord en fonction de la position de celle-ci dans le sol. Un herbicide peu soluble dans l'eau, tels la simazine ou le diuron, ou fortement retenu en surface par les colloïdes du sol, telle la trifluarine, n'aura d'action que sur les plantes à enracinement superficiel. Les graines de petite taille dont la radicule demeure en contact suffisamment longtemps avec le produit seront également détruites. Inversement, les produits plus solubles migrent en profondeur et peuvent atteindre les plantes à enracinement profond. On parle ici de sélectivité de position.

La sélectivité de l'herbicide peut s'exercer aussi en fonction des caractéristiques morphologiques de la plante. La position de la feuille dans l'espace, la surface foliaire, la présence d'une cuticule plus ou moins épaisse, la pilosité sont autant de facteurs qui agissent sur la rétention et la pénétration du produit. En général, les feuilles de graminées sont peu mouillables, les plantes jeunes ont une cuticule peu épaisse, une feuille glabre retient très peu le produit, une feuille à forte pilosité le retient beaucoup mieux mais la pénétration est faible. Enfin, il faut tenir compte de l'humidité atmosphérique : un temps chaud et

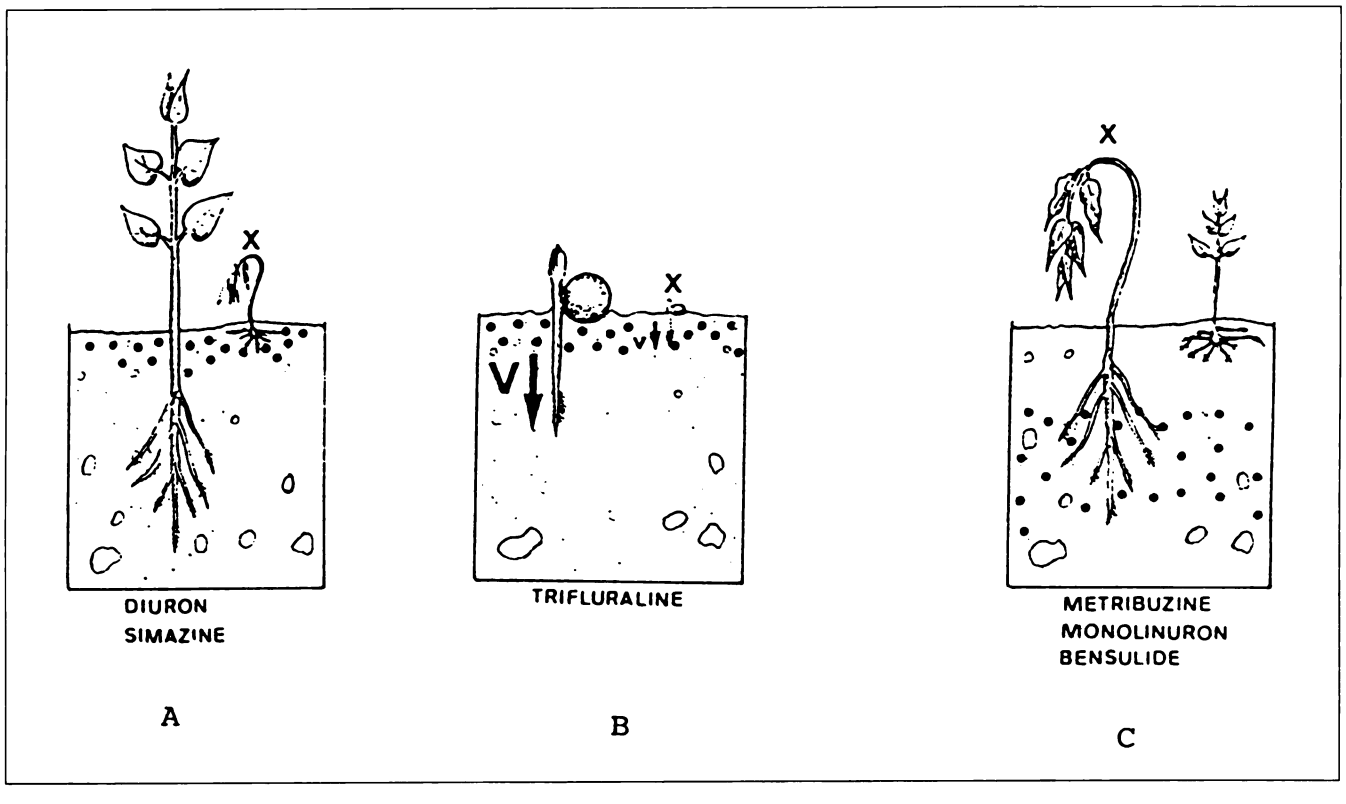
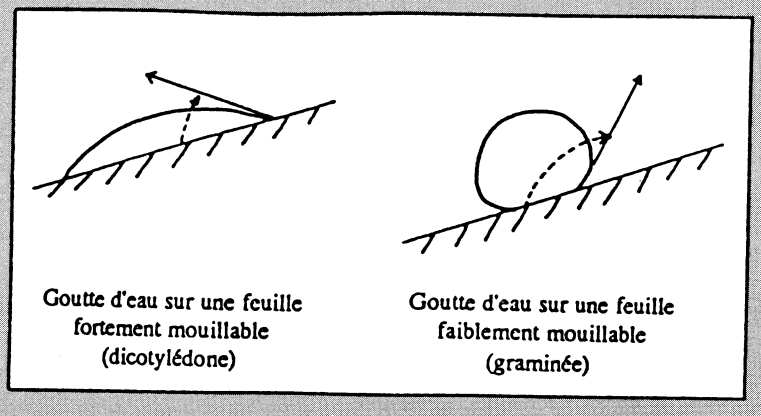


Fig. 4 : Sélectivité d'un herbicide en liaison avec sa position dans le sol
• herbicide ;
X plante atteinte par l'herbicide ;
V semence de grande taille dont la radicule se développe rapidement ;
v semence de petite taille dont la radicule reste dans la zone d'herbicide.
(D'après Tissut et Severin).

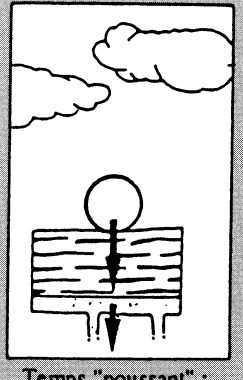
Fig. 5, 6, 7 : Herbicide et morphologie foliaire (d'après Severin, 1987).

Herbicide et morphologie foliaire

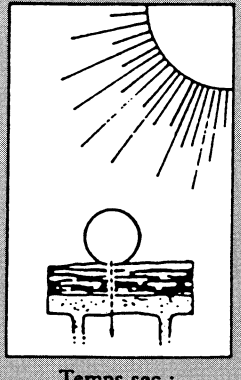


Goutte d'eau sur une feuille fortement mouillable (dicotylédone)

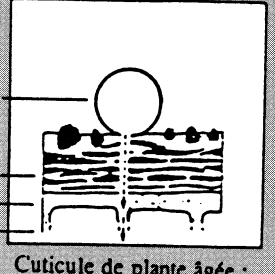
Goutte d'eau sur une feuille faiblement mouillable (graminée)



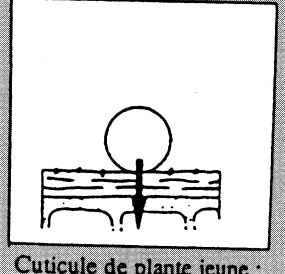
Temps "poussant" : pénétration cuticulaire forte



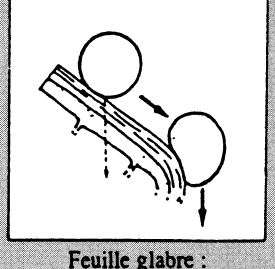
Temps sec : pénétration cuticulaire faible



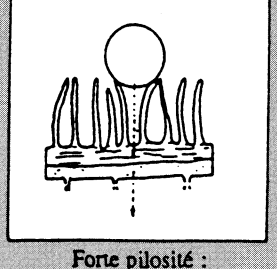
Cuticule de plante âgée : faible pénétration



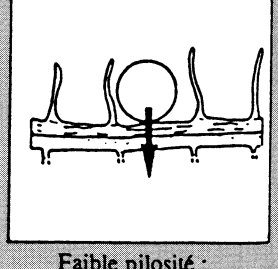
Cuticule de plante jeune : pénétration forte



Feuille glabre : tendance au lessivage *Ex. Ail des vignes, certaines crucifères.*



Forte pilosité : faible pénétration *Ex. Grémil, Myosotis.*



Faible pilosité : pénétration favorisée *Ex. Mouron des champs, Pensée sauvage.*

humide favorise la pénétration, parce que la couche cireuse de cutine, normalement imperméable, se gonfle et peut ainsi favoriser les échanges d'eau à travers la paroi cellulaire.

La sélectivité de l'herbicide peut enfin s'exercer en fonction des caractéristiques physiologiques de la plante. Nous avons vu ci-dessus que l'utilisation des herbicides favorisait le maintien d'espèces bisannuelles et vivaces au détriment des espèces annuelles plus sensibles. Ceci est dû à la présence de réserves souvent localisées dans un système racinaire très développé qui favorise la reprise de la plante. Il existe donc une large sélectivité entre les annuelles et les autres.

Détruire les bisannuelles et vivaces suppose que l'herbicide puisse être transporté par les vaisseaux jusque dans les parties souterraines. Or on sait que certains herbicides sont très peu transportés, ce sont les herbicides de contact qui tuent les cellules au seul point d'application. Utilisables contre les annuelles, ils sont peu efficaces sur les espèces à réserves importantes. La recherche s'est appliquée à la réalisation de produits systémiques qui circulent dans les vaisseaux du liber et peuvent ainsi atteindre les organes les plus éloignés. Toutefois la règle n'est pas générale, et un bon nombre de produits systémiques efficaces sur certaines espèces ne le sont pas sur d'autres. Ceci introduit à la notion de détoxification et de résistance de la plante aux herbicides.

Les herbicides sont des produits toxiques. Or, pour la survie de l'écosystème agraire, il est indispensable que leur toxicité disparaisse. En général les sols contiennent toute une flore et une faune de microrganismes qui assurent cette dégradation jusqu'au CO_2, H_2O, N_2, NO_3. Il en est de même chez les plantes qui par divers procédés peuvent rendre les herbicides partiellement ou totalement inefficaces. Ce peut être par la localisation et l'accumulation en des sites inactifs comme les cellules sécrétrices, par la fixation sur une autre molécule, généralement un sucre ou un acide aminé, avec formation d'un complexe non toxique, enfin par la dégradation partielle ou totale par voie enzymatique ou non. On connaît actuellement de telles détoxifications pour la simazine, le 2,4 D et l'aminotriazole.

On entend souvent parler de plantes résistantes aux traitements. En réalité, la notion de résistance s'applique à une espèce ou à une population d'individus ayant acquis par sélection une capacité d'insensibilité à l'action d'une molécule toxique. Le phénomène est donc différent de celui qui a été évoqué précédemment dans le cas de la détoxification. Ici en effet la molécule toxique n'est pas dégradée et se retrouve donc intacte dans les organes à une dose suffisante pour en provoquer la destruction. Les hypothèses quant à l'explication de cette insensibilité font intervenir soit la fixation de la molécule toxique sur certains sites inactifs, soit une modification de la protéine cible qui empêche la fixation de la matière active. En bref, la clé ne s'adapte plus à la serrure.

Le cas de certaines espèces de chénopodes résistants aux triazines, et en particulier à l'atrazine, est un exemple actuellement bien connu. L'atrazine bloque la photosynthèse en stoppant le transport des électrons par les quinones des chloroplastes, et ceci en se fixant sur un site protéique bien précis. C'est une légère modification de la structure de cette protéine qui empêche la fixation de la matière active. On parle de résistance chloroplastique. Cette résistance peut être décelée par de nombreuses méthodes, en particulier par l'étude de la fluorescence des parties chlorophylliennes, la fluorescence devenant très forte en cas de blocage. La résistance chloroplastique concerne plusieurs espèces (amarante, séneçon, chénopode, morelle, pâturin) ; le gène dominant serait porté par l'ADN chloroplastique. Il s'agirait donc d'une transmission à hérédité cytoplasmique et non nucléaire.

QUELLES PERSPECTIVES ?

Protéger de manière efficace une culture contre les mauvaises herbes fait appel, nous l'avons vu, à la notion de sélectivité, l'idéal étant que, pour une culture donnée, un herbicide détruise toutes les mauvaises herbes présentes ou potentielles, et, en même temps, soit sélectif de l'espèce cultivée.

Une des voies de recherche consiste à trouver de nouveaux herbicides sélectifs en les testant au laboratoire sur les adventices et sur les espèces à protéger. On réalise ainsi un criblage différentiel pouvant faire apparaître des résistances naturelles au produit testé. C'est ce procédé qui a permis de découvrir la plupart des molécules, et qui est toujours utilisé. Il faut cependant remarquer que c'est une méthode empirique aux rendements faibles et aux résultats aléatoires. La recherche s'oriente actuellement vers l'obtention de nouvelles molécules pouvant être utilisées à faible dose sur des cibles biochimiques bien précises, par exemple une enzyme responsable de la synthèse du carotène.

Une autre voie de recherche semble très prometteuse, celle qui fait appel aux biotechnologies et en particulier au génie génétique. On a dit ci-dessus que la résistance naturelle de certaines espèces à l'atrazine était liée à la présence d'un gène localisé sur l'ADN des chloroplastes. Par ailleurs, un certain nombre d'herbicides, par exemple le glyphosate, ont une très grande efficacité sur la plupart des mauvaises herbes tout en étant rapidement dégradés dans le sol. S'il était possible de transférer la résistance naturelle à l'atrazine à une plante cultivée ou de lui faire acquérir une résistance au glyphosate, on aurait du même coup résolu un bon nombre de problèmes de désherbage. Les techniques de biotechnologie permettent de tels transferts.

Actuellement, il existe plusieurs méthodes pour introduire une résistance dans une plante.

La sélection conventionnelle consiste à croiser une espèce résistante à l'herbicide avec une espèce cultivée. Ce procédé classique est limité par la nécessité de disposer d'une plante résistante susceptible de réaliser ce croisement. Il faut ensuite sélectionner les hybrides. C'est une technique longue.

La fusion de protoplastes (cellules végétales dépourvues de paroi) évite les contraintes de la reproduction sexuée. Généralement, on opère la fusion en utilisant des

chocs électriques. Les cellules hybrides ou cybrides sont ensuite régénérées par culture *in vitro* puis sélectionnées. Ici encore, il faut disposer d'une plante résistante dont les protoplastes peuvent être fusionnés facilement avec ceux de la plante cultivée.

Les cultures *in vitro* de tissus de plantes permettent d'abord d'obtenir de nombreux individus que l'on peut ensuite soumettre à différents stress : traitements mutagènes, mise en contact progressive avec l'herbicide, etc. On peut ainsi provoquer l'apparition d'individus résistants que l'on sélectionnera et rajeunira. Ce procédé a permis d'obtenir quelques résultats pour le maïs et le tabac, mais les essais pour rendre les plantes insensibles au glyphosate se sont pour le moment soldés par des échecs.

La technique du génie génétique consiste à introduire dans la culture un gène correspondant à une protéine qui apportera la résistance à l'herbicide. Les cultures utilisées sont des protoplastes ; l'introduction du gène se fait soit directement avec de l'ADN nu, soit par l'intermédiaire d'une bactérie phytopathogène.

Récemment, les techniques de fusion de protoplastes ont permis de réaliser l'introduction d'une résistance chloroplastique aux herbicides du groupe des triazines dans quelques lignées du colza d'hiver. Sur le plan commercial, un seul produit est disponible. Il a été obtenu par les méthodes de sélection conventionnelles.

La lutte chimique contre les mauvaises herbes ne s'est pas encore généralisée dans le vignoble français. Les raisons en sont diverses : qualité des sols, climat peu favorable, échecs répétés ou insuffisance des résultats, peut-être aussi une certaine appréhension en face de produits chimiques toxiques, non seulement pour les plantes et les sols, mais également pour l'homme. Ce qui est certain, c'est que l'emploi de ces méthodes nécessite de la part de l'utilisateur une réelle technicité, et que la lutte chimique bien conduite n'a aucun effet néfaste sur la qualité et la quantité du produit récolté.

On peut souhaiter une amélioration de la spécificité des matières actives et une plus grande efficacité de leur spectre d'action, ce qui permettra de diminuer les doses et de traiter moins en traitant mieux.

Des méthodes plus biologiques et plus écologiques que chimiques commencent à être utilisées, en particulier l'enherbement permanent. Il peut être en effet tentant de remplacer la technique de la non-culture par une couverture permanente ou temporaire de graminées ou de légumineuses sur tout ou partie de la surface cultivée.

Les effets se situent au niveau des sols et de la vigne. Au niveau des sols, on constate une diminution de l'érosion et une meilleure stabilité au passage des engins, une amélioration de leur qualité par augmentation de la teneur en matière organique. En revanche, les gelées printanières sont plus nombreuses. En ce qui concerne la vigne, on a constaté une baisse de vigueur et une diminution des rendements, ceci en raison de la concurrence pour l'alimentation en eau.

Actuellement, un protocole expérimental a été mis en place par le groupe « vigne » ANPP-Columa pour étudier les effets de l'enherbement sur la vigne. C'est une preuve de l'intérêt que ce procédé suscite. A défaut de « la solution de demain pour tous », cette technique permettra aux nombreux viticulteurs qui le souhaitent de pouvoir lutter autrement contre les mauvaises herbes.

CONCLUSION

Au terme de cette étude consacrée à une mise au point sur les méthodes et les perspectives de la lutte chimique contre les mauvaises herbes dans le vignoble français, un certain pessimisme pourrait se dégager face à un éventuel recul de l'emploi de la chimie non seulement dans le domaine spécifique de la lutte phytosanitaire, mais sans doute aussi dans le domaine des engrais.

En effet, le regard que l'on peut jeter sur l'évolution des ventes de produits phytosanitaires en France dans les années récentes n'incite pas à l'optimisme. Il en est de même pour la fabrication des engrais. Selon J.-Cl. Achille, président de la Fédération nationale de l'industrie des engrais, en France, la consommation, tous produits confondus, plafonne depuis plusieurs années autour de quinze millions de tonnes. Si la consommation de l'azote progresse, celle des phosphates continue de baisser, tandis que la demande en potasse reste stable.

De plus, bien que toutes les sociétés travaillent dans le domaine de la synthèse chimique pour mettre au point de nouvelles molécules, on constate que parallèlement la

Chemin de roulement dans un vignoble pour le passage des engins. Cl. J. Grelon.

plupart des acteurs se sont engagés dans des programmes de recherche en biotechnologies, et plus particulièrement dans celui des transferts de gènes. Si on ajoute les contraintes écologiques ainsi que l'effet perturbant du futur marché unique européen qui entraîne une adaptation aux rigueurs croissantes des normes écotoxicologiques et des procédures d'homologation, en même temps qu'une harmonisation des prix et de la fiscalité, on peut craindre que la demande de tous ces produits n'en soit affectée.

Face à cette situation, les grands groupes se diversifient en élargissant leur champ d'action. Depuis une dizaine d'années, les firmes de produits chimiques ou agro-alimentaires se sont restructurées et ont fait une intrusion forte dans le monde des semences et des biotechnologies végétales, créant elles-mêmes leurs propres unités de recherche. La demande en nouvelles variétés est importante, tandis que parallèlement leur durée de vie tend à diminuer. Il y a donc une stimulation de la recherche fondamentale avec un glissement très net vers une privatisation au détriment des pratiques traditionnelles de l'agronomie.

Il en est de même dans le secteur de la production des aliments pour le bétail, avec la fabrication de produits de substitution des céréales. Le chiffre d'affaires est évalué en France à 40 milliards de francs. L'élargissement à l'Europe et la mondialisation ne pourront que favoriser cette activité.

L'industrie chimique a été largement présente jusqu'ici dans le monde agricole, avec la fourniture d'engrais et de produits phytosanitaires (fongicides, insecticides, herbicides). Elle prend pied maintenant dans le domaine des semences et de l'alimentation animale. Il lui reste certainement de beaux jours en perspective.

Bibliographie

R. Agulhon et coll. *Désherbage de la vigne*, Guide pratique, Institut technique de la vigne et du vin, 1984, 156 p.

ANPP-Columa « Groupe vigne », *Protocole d'études des effets de l'enherbement sur la vigne,* Association nationale pour la protection des plantes, Comité français de lutte contre les mauvaises herbes, 1990, 9 p.

R. Calvet et coll., *les Herbicides et le sol.* ACTA, 1977, 144 p.

Economie et finances agricoles, 1989, 239.

B. Fabre et M. Gugliemi, « L'évolution des pratiques agricoles et leurs répercussions sur le milieu. Point de vue d'un économiste et d'un agronome », *Défense des végétaux,* 1988, 25, pp. 3-11.

A. Fougeroux, « De nouveaux horizons », *Phytoma*, 1989, 414, pp. 24-25.

G. Freyssinet, « Résistance aux herbicides et transfert de gènes », *Phytoma*,1990, 415, pp. 9-13.

G. Freyssinet et coll., *Nouvelles Approches de la résistance des cultures aux herbicides : la résistance au bromoxynil.* C.R. Ac. Agric. Fr., 1989, 75, 6, pp. 49-55.

P. Gaillardon, « Les nouveaux herbicides », *Phytoma,* 1990, 415, 8.

J. Grelon, « Remarques sur la flore adventice des vignobles de la Loire moyenne : région de Bourgueil, Chinon, Saumur » *Bull. Soc.Et. Sci. de l'Anjou*, 1989, 13, pp. 171-178.

J. Grelon et J.-Cl. Lepine, « Résultats de cinq années de désherbage en vignoble ; comparaison de quatre programmes », Journées d'études sur le désherbage, 11e conférence du Columa, Versailles, 1981, pp. 652-664.

J. Grelon et Ph. Guignebault, « Un essai sur le désherbage en verger de pommiers », *Bull. Soc. Et. Sci. de l'Anjou*, N.S.,1982, t. XI, pp. 65-71.

Ph. Jauzein, « La résistance des mauvaises herbes aux herbicides », *Phytoma*, 1989, 405, 17-25 et 406, pp. 21-27.

La France agricole, 1989, 2317.

J. My, « Onze nouvelles molécules à Brighton », *Phytoma*, 1990, 414, pp. 24-25.

P. Ricci, « L'induction des réactions de défense chez les plantes », C.R. Ac. Agric. Fr., 1989,75, 6, pp. 65-72.

F. Severin, « Cuticule végétale et pénétration cuticulaire des herbicides de post-levée », *Défense des végétaux*, 1987, 246, pp. 21-24.

J. Tempe et M. Sorin, « l'Apport du génie génétique dans le domaine phytosanitaire », *Phytoma*, 1989, 413, pp. 45-51.

J. Thomzik et R. Hain, *Introduction de la résistance à la métribuzine dans le colza double zéro*, C.R. Ac. Agric. Fr., 1989, 75, 6, pp. 57-61.

M. Tissut et coll., *les Pesticides, oui ou non ?* Presses universitaires de Grenoble, 1979, 234 p.

M. Tissut et F. Severin, *Plantes, herbicides et désherbage.* Association de coordination technique agricole (ACTA), 1984, 252 p.

Tableau I **Repères historiques**

Début du XIX *: première utilisation en France, Belgique et Angleterre de phosphates d'origine organique (os) et de cendres de végétaux pour améliorer la qualité des sols.*

Vers 1830 *: Lawes met en évidence sur sa propriété de Rothamsed, en Angleterre, l'action fertilisante des phosphates minéraux.*

1840 *: Liebig, chimiste allemand, imagine la fabrication des superphosphates.*

1840 *: les premières cargaisons de guano du Pérou et de nitrates du Chili arrivent en France.*

1843 *: première utilisation du soufre pour la protection du vignoble.*

1852 *: Boussingault crée à Nantes la première station de recherche agronomique.*

1872 *: utilisation de l'arsenic pour lutter contre le doryphore.*

1875 *: Deherain crée le champ d'expériences de la station agronomique de Paris-Grignon.*

1885 *: la « bouillie bordelaise ».*

1940 *: le Suisse Müller découvre les propriétés du DDT.*

1946 *: création de l'Institut national de la recherche agronomique.*

Tableau II **Consommation d'engrais en 1985-1986** *(en millions de tonnes d'éléments fertilisants)*

	Monde	CEE	France
Azote	70	9,4	2,4
Anhydride phosphorique	33	4,5	1,5
Oxyde de potassium	26	4,6	1,8
Total	129	18,5	5,7

(source : FAO)

Tableau III **Évolution de la consommation mondiale de pesticides** *(en millions de dollars)*

Années	Herbicides	Insecticides	Fongicides	TOTAL
1987	8 600	6 100	4 100	20 000
1986	7600	5 450	3 250	17 400
1985	7 075	5 000	2 800	15 900
1980	4 891	3 916	2 199	11 565
1970	940	1 000	600	2 700
1960	170	310	340	850

(source : UIPP)

Tableau IV **Évolution de la structure des ventes phytosanitaires en France (%)**

	1983	1984	1985	1986	1987
Fongicides	31,2	33,7	32,2	33,1	33,0
Insecticides	16,1	16,6	16,3	17,4	17,0
Herbicides	46,3	43,3	44,6	42,3	42,2
Divers	6,4	6,4	6,9	7,2	7,8
Total	100	100	100	100	100

(source : UIPP)

Tableau IV bis **Évolution de la structure des ventes phytosanitaires en France, par type de produits** *(en millions de francs)*

	1983	1984	1985	1986	1987
Fongicides	2 203,3	2 687,3	2 755,0	2 956,5	3 102,3
Insecticides	1 136,0	1 323,7	1 390,8	1 556,2	1 588,7
Herbicides	3 266,6	3 458,9	3 809,5	3 780,4	3 965,7
Divers	446,8	507,2	588,0	641,3	742,0
Total	7 052,7	7 977,1	8 543,3	8 934,4	9 398,7

(source : UIPP)